

ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА АВТОМОБІЛЯ ЯК ДЖЕРЕЛО ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Розглянуто основні фактори, що впливають на виникнення пожеж на автомобілях через короткі замикання (КЗ) у їх електричній мережі. Досліджено особливості КЗ автомобільних електропроводів, залежно від площі їх перерізу та довжини. У результаті експериментальних досліджень встановлено, що для автомобільного проводу, залежно від площі його перерізу і відстані між джерелом електроживлення і місцем КЗ існує дві характерні ділянки його протікання. При малій довжині проводу, меншій від певної величини при КЗ виникає потужна електрична дуга, внаслідок якої відбувається розплавлення і вигорання металу в зоні контакту та самоликвідація КЗ. При довжині проводу більшій від вказаної межі, перехідний контакт є стійким, струм у колі збільшується до певної величини, КЗ відбувається тривалий час, що може призвести до значного нагрівання жили проводу і її оголення через оплавлення ізоляції.

Ключові слова: автомобільний транспортний засіб, пожежа на автомобілі, пожежна безпека, коротке замикання, електрична мережа, електричні проводи.

С.В. Немий, Т. В. Ребот

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ АВТОМОБИЛЯ КАК ИСТОЧНИК ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Рассмотрены основные факторы, влияющие на возникновение пожаров на автомобильных транспортных средствах (АТС) из-за коротких замыканий (КЗ) в их электрической сети. Исследованы особенности КЗ автомобильных электропроводов в зависимости от площади их сечения и длины. В результате экспериментальных исследований установлено, что для автомобильного провода, в зависимости от площади его сечения и расстояния между источником электропитания и местом КЗ существует два характерных участка его протекания. При малой длине провода, меньшей определенного значения, при КЗ возникает мощная электрическая дуга, вследствие которой происходит расплавление и выгорание металла в зоне контакта и самоликвидация КЗ. При длине провода большей указанного предела, переходной контакт остается устойчивым, ток в цепи увеличивается до определенной величины, КЗ происходит продолжительное время, что может привести к значительному перегреву жилы провода и ее оголения из-за оплавления изоляции.

Ключевые слова: автомобильное транспортное средство, пожар на автомобиле, пожарная безопасность автомобиля, короткое замыкание, электрическая сеть, электрические провода.

S.V. Niemyj, T.V. Rebot

ELECTRICAL NETWORK OF CAR – THE SOURCE OF FIRE DANGER

The main factors of short circuits in car electrical network, which may cause the fires on vehicles, have been studied. The peculiarities of short circuit in automobile wires, depending on their cross section and length, have been investigated. The findings of the experiments have shown that depending on cross section and length of automobile wires, there are two typical zones (areas) of short circuits flowing. During the short circuit, when the length of wires is less than full value, there is powerful electric arc, which causes melting and burnout of metal in the contact zone and leads to self-destruction of short circuit. When the length of wire is longer than mentioned border, the transitive contact is sustainable, current is growing to some value and short circuit occurs for a long time. This can lead to considerable heating of wire and it's denudation through the isolation melting.

Keywords: car, fire on vehicles, fire safety, short circuit, electrical network, electrical wires.

Постановка проблеми. Кількість пожеж на легкових, вантажних автомобілях і автобусах (автомобільні транспортні засоби – АТЗ) у всьому світі постійно зростає з темпами, що перевищують зростання чисельності АТЗ [1]. У Великобританії, наприклад, впродовж 1997-2007 років кількість пожеж на АТЗ зросла на 60 % [2]. Це свідчить про актуальність теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на підвищення пожежної безпеки АТЗ.

Аналіз відомих досліджень та публікацій. У роботі [3] наведено загальні відомості про струми короткого замикання (КЗ) у електричних мережах, а також основні причини виникнення і характер їх розвитку в пожежно-вибухових умовах. У роботі [4] розглянуто принципи формування пожежної безпеки автомобілів на основі вивчення статистики пожеж на них. Відзначається, що через несправність електрообладнання стається майже 20 % пожеж автомобілів. У роботі [5] висвітлено теоретичні аспекти та їх практичне застосування при дослідженнях пожежної безпеки електропроводок та їх причетності до виникнення пожеж. У статистичному збірнику [6] наведено статистичні дані щодо пожеж на АТЗ впродовж 2007 – 2011 років.

У всіх наведених джерелах відзначається актуальність проблеми гарантування пожежної безпеки АТЗ. Однак ще і досі, процеси, що призводять до раптових загорянь АТЗ у процесі експлуатації, досліджені недостатньо.

Постановка завдання. Дослідження особливостей КЗ у електричній мережі АТЗ та їх впливу на можливість виникнення пожеж.

Виклад основного матеріалу. Проводи електричної мережі прокладені у безпосередній близькості від елементів конструкції АТЗ, виготовлених із горючих матеріалів: панелей внутрішнього облицювання, термо- та шумоізоляції тощо. Значна кількість споживачів електроенергії зосереджена у моторному відсіку, який є зоною найбільш несприятливих умов функціонування електричної мережі – підвищена температура повітря, наявність джерел великих теплових випромінювань, наявність паливних і оливних трубопроводів. Через це технічний стан електричної мережі відіграє значну роль у пожежній безпеці АТЗ.

До аварійних режимів у електромережі АТЗ, що призводять до виникнення пожежі, спричинюються технологічні і експлуатаційні чинники: неякісне складання АТЗ у виробництві і під час ремонту; неправильно укладений пучок електропроводки, що перетирається до гострих кромek конструктивних елементів; неналежно затягнуті клеми силових проводів, що призводять до їх нагрівання і можливого оплавлення ізоляції. На жаль, виявити в експлуатації подібні дефекти досить складно. Крім цього, порушення кріплення проводів і цілісності ізоляції може статися внаслідок ДТП. Типовий приклад: після аварії автомобіль півроку експлуатували, а потім раптово виникла пожежа. За весь цей період на провід із пошкодженим кріпленням діяли вібраційні навантаження, що призвели до перетирання ізоляцій і контактування проводу з «масою» із подальшим КЗ.

Також відбувається природне старіння ізоляції. Під дією агресивного середовища і високих температур вона тріскається і місцями руйнується. У роботі [5] відзначається, що найбільш частою причиною і «провісником» КЗ, внаслідок теплової дії електричного струму і зовнішнього середовища на матеріал ізоляції, є часткові електричні розряди, що виникають через зниження діелектричної стійкості ізоляції. Діелектрична стійкість ізоляції визначається її тепловим зношуванням, яке оцінюється емпіричною формулою [5]

$$Z = c \tau e^{\gamma t}, \quad (1)$$

де c і γ – величини, постійні для даного типу ізоляції; τ – час дії температури; e – основа натурального логарифму; t – температура.

Особлива небезпека часткових електричних розрядів полягає в тому, що часто візуально оцінити стан ізоляції неможливо. За наявності, поряд з проводами із незадовільним станом ізоляції, підтікання із трубопроводів палива і системи мащення, при часткових електричних розрядах можливе загоряння суміші пального чи оливи із пилюкою на поверхні нагрітих деталей двигуна чи моторного відсіку і без КЗ. Через це машини «віком» понад десять років у цьому відношенні становлять групу ризику.

До ще однієї причини пожежі відноситься підключення до електромережі АТЗ додаткового електричного навантаження на яке не розраховані проводи.

Також причиною аварійних режимів у електромережі є застосування запобіжників більшого номіналу, ніж це передбачено конструкцією АТЗ.

Чисельність пожеж на АТЗ є певну статистичну закономірність, яку можна оцінити відношенням кількості зафіксованих пожеж на АТЗ до загальної чисельності АТЗ в експлуатації. У табл. 1, на основі статистики пожеж на АТЗ у Російській Федерації [2, 6], наведені дані щодо ймовірності загоряння АТЗ за фактичними випадками їх загорянь за останні роки.

Таблиця 1

Ймовірність загоряння АТЗ

Тип АТЗ	Відносна кількість пожеж на рік	
	2008 р.	2011 р.
Легкові	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$5,04 \cdot 10^{-4}$
Вантажні	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$
Автобуси	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$

Як бачимо у табл.1, щодо ймовірності загоряння автобуси є найбільш небезпечним транспортним засобом – відносна кількість пожеж на них більша, порівняно із легковими і вантажними автомобілями.

Досвід проектування і аналіз експлуатації АТЗ дає змогу класифікувати їх електричні мережі за певними конструктивними і функціональними ознаками [4] (рис.1), які опосередковано відображають їх рівень пожежної безпеки.

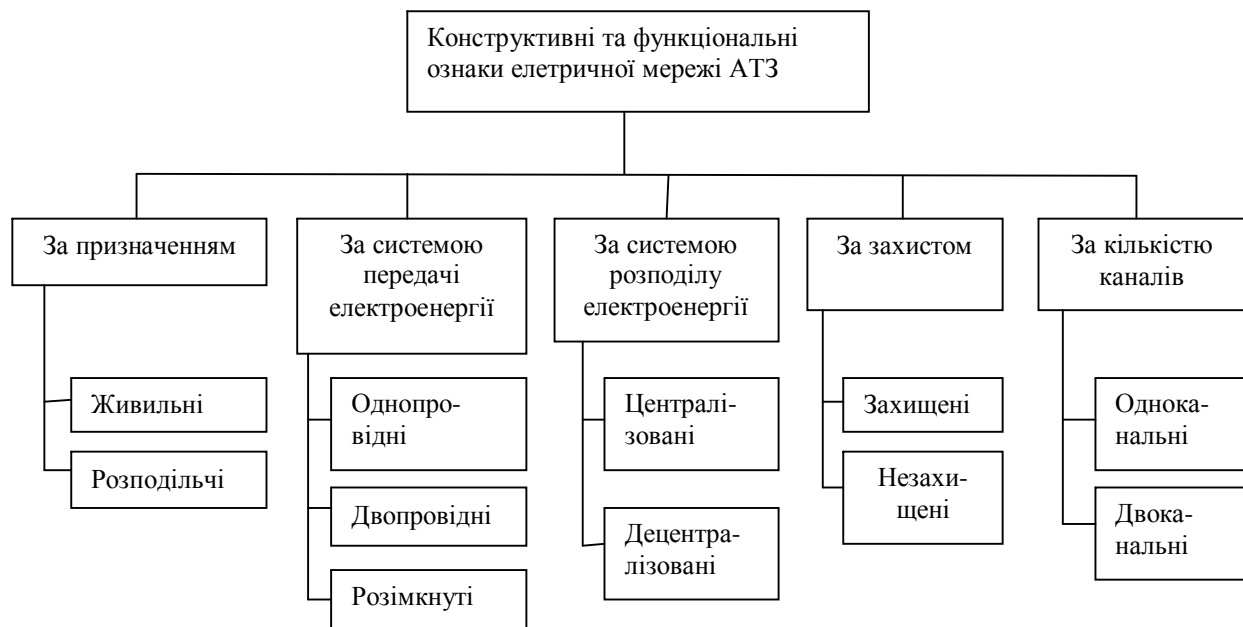


Рисунок 1 – Класифікація електричних мереж АТЗ

Живильні електричні мережі передають електроенергію від джерела електроживлення до розподільчих пристроїв. Розподільчі – від розподільчих пристроїв до споживачів електроенергії.

У переважній більшості живильні і розподільчі електричні мережі АТЗ виконуються у виді розімкнутих мереж, у яких електроживлення споживачів здійснюється в одному напрямі з використанням у якості другого проводу корпусу кузова – «маси». Розімкнуті електричні мережі, порівняно із двопровідними, мають значну перевагу – конструктивна простота і технологічність монтажу, зручність в експлуатації, менші витрати проводів. Однак щодо пожежної безпеки вони є більш небезпечними, ніж двопровідні, через можливість КЗ на «масу».

Централізована електромережа характеризується тим, що проводи живлення від джерела електроенергії під'єднуються до єдиного центрального розподільчого пристрою (розподільчого щитка), від якого електроенергія передається до споживачів.

У децентралізованій мережі живильні проводи під'єднані до декількох зональних розподільчих пристроїв, від яких електроенергія передається до споживачів даної зони.

Як правило всі кола електрообладнання АТЗ мають електричний захист. Виняток становлять система запалювання бензинових двигунів і кола деяких приладів короточасної дії: дистанційного вимикача акумуляторної батареї, стартера. Незахищені електричні кола є потенційно найбільш пожежонебезпечними.

Електричні мережі сучасних АТЗ є переважно одноканальними. Двоканальні застосовуються на деяких автобусах, що мають головний вимикач-запобіжник. У електромережі такої конструкції всі зовнішні світлові прилади з'єднуються з джерелом електроживлення окремим живильним проводом (каналом), що у загальному значно підвищує пожежну безпеку електромережі АТЗ.

При порушенні режиму роботи електромережі виникають струмові перевантаження, температура проводу досягає критичного значення, у результаті чого можливе оплавлення і загоряння ізоляції та, контактуючих із проводом, горючих конструкційних матеріалів. Якщо температура є досить великою, але не досягає критичної, то прискорюється старіння ізоляції проводу і знижується його експлуатаційна надійність.

Таким чином пожежна безпека електромережі АТЗ насамперед визначається силою струму, що протікає у проводах. Виходячи із цього, величину гранично допустимого струму $I_{дон}$ у проводах АТЗ розраховують за емпіричними формулами [4]: для проводів одиночного прокладання

$$I_{дон} = \sqrt{\Delta T(5S_{np} + 3,45S_{np}^{1,5})}; \quad (2)$$

для проводів, укладених в пучки

$$I_{дон} = \sqrt{\Delta T(2S_{np} + 1,5S_{np}^{1,5})}, \quad (3)$$

де S_{np} – площа перерізу жили проводу, мм²; $\Delta T = T_{np} - T_{cp}$ – перегрів ізоляції, К; T_{np} – допустима стала температура ізоляції за умовою її теплостійкості, К; T_{cp} – температура оточуючого середовища, К.

Як уже зазначалося вище, причиною аварійного режиму в електромережі є часткові електричні розряди та КЗ на «масу» АТЗ. Це, в аспекті пожежної безпеки, є найбільш небезпечним, оскільки саме явище виникає несподівано і в короткий проміжок часу може спричинити пожежу на АТЗ.

Залежно від величини перехідного опору (жила проводу – «маса») КЗ може бути прямим (глухе, металеве, повне) і неповним, яке виникає при великому перехідному опорі внаслідок нещільного контакту, наявності окисної плівки тощо.

Повне КЗ проходить у двох режимах: 1) у місці контакту, перехідний опір якого є більшим, за опір проводу, відбувається значне виділення тепла, виникає електрична дуга, метал у місці контакту розплавляється і КЗ самоліквідується; 2) перехідний контакт є стійким, струм у колі збільшується до певної величини, що призводить до значного нагрівання жили проводу і її оголення через оплавлення ізоляції. Ці обставини спрощено ілюструються відомими із електротехніки залежностями:

$$I_{кз} = \frac{U}{R_n + R_k + R_a} = \frac{U}{\rho \frac{l}{S_{np}} + R_k + R_a}, \quad (4)$$

де $I_{кз}$ – струм короткого замикання; U – напруга джерела живлення; R_n – еквівалентний опір проводу на ділянці «джерело живлення – місце КЗ»; R_k – перехідний опір у місці КЗ; R_a – опір «масової» ділянки кола: місце КЗ – мінусова клемма акумуляторної батареї; ρ – питомий опір матеріалу проводу; l – довжина проводу на ділянці «джерело живлення – місце КЗ».

Аналізуючи рівняння (4) бачимо, що величина струму КЗ у значній мірі залежить від опору проводу на ділянці «джерело живлення – місце КЗ», тобто від довжини ділянки прово-

ду l . У цьому аспекті становить практичний інтерес особливість протікання процесу КЗ у електричній мережі АТЗ, залежно від площі перерізу жили проводу S_{np} і його довжини на ділянці «джерело живлення – місце КЗ» l . З цією метою було проведено відповідні експериментальні дослідження із автомобільними проводами типу ПВА різних перерізів. Електрична схема експерименту наведена на рис. 2.

КЗ створювалося накладанням проводу оголеною ділянкою на імітатор «маси». Зусилля притискання проводу до «маси» здійснювалося його власною вагою. Довжина проводу від клеми акумуляторної батареї до місця КЗ на імітаторі «маси» збільшувалася до моменту припинення виникнення дуги і настання повного КЗ, яке тривало до початку оплавлення ізоляції. Крок довжини досліджуваного проводу становив 0,1 – 0,25 м. Експеримент для кожного перерізу проводу проводився не менше трьох разів. Результати експериментів із проводами типу ПВА, найбільш поширених перерізів 1,0, 1,5 і 2,5 мм², наведено на рис. 3, де горизонтальні відрізки відображують діапазон меж між зонами електричної дуги і повного КЗ з оплавленням ізоляції в окремих експериментах.

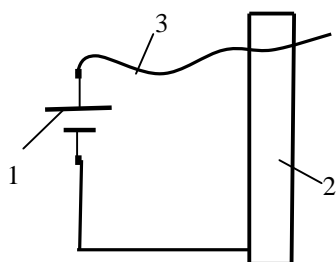


Рисунок 2 – Електрична схема експерименту:

- 1 – акумуляторна батарея;
- 2 – імітатор «маси» АТЗ (труба квадратна 40? 40);
- 3 – досліджуваний провід

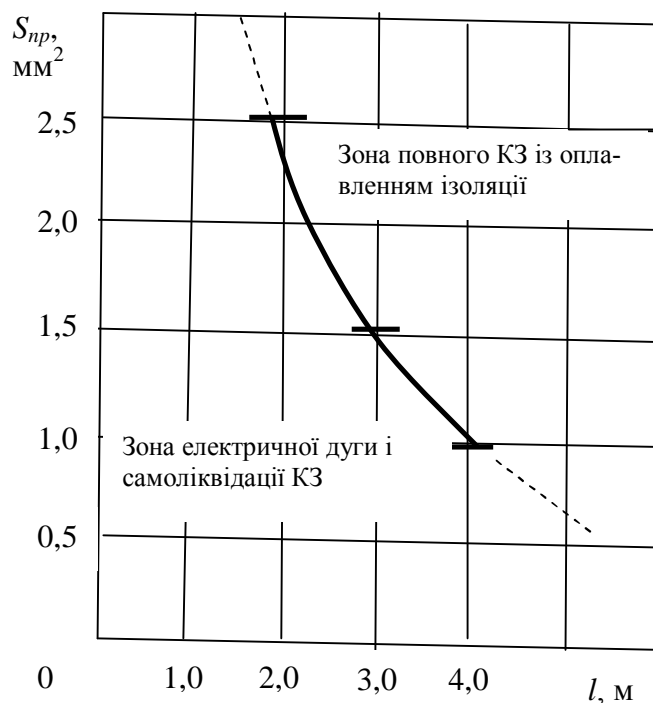


Рисунок 3 – Межа між зонами виникнення електричної дуги і повного КЗ з оплавленням ізоляції, у залежності від площі перерізу і довжини проводу

Як бачимо на рис. 3, для кожного проводу, в залежності від площі його перерізу і довжини існує дві характерні зони (ділянки). При малій довжині проводу, меншій від певної величини (крива на рис.3), при КЗ виникає потужна електрична дуга, внаслідок якої відбувається розплавлення і вигоряння металу в зоні контакту та самоліквідація КЗ. При довжині проводу більшій від вказаної межі, перехідний контакт є стійким, струм у колі збільшується до певної величини, КЗ відбувається тривалий час, що може призвести до значного нагрівання жили проводу і її оголення через оплавлення ізоляції.

Малі довжини проводів між джерелами електроживлення і точками КЗ характерні для проводів електромережі, прокладеної на незначній відстані від акумуляторної батареї – переважно у моторному відсіку. У цьому випадку незадовільний технічний стан автомобіля – підтікання пального і оливи на нагрітій корпус двигуна і його систем, особливо покритих шаром пилу, стає ідеальним середовищем для займання при виникненні часткових електричних розрядів чи електричної дуги при КЗ. У даному випадку небезпечним є те, що пожежа на АТЗ через КЗ може несподівано виникнути в русі, що часто є основною причиною неефективності її гасіння.

У проводах більших довжин, правору від межі між вказаними зонами (рис.3), при КЗ струм у колі збільшується до певної величини, що може призвести до значного нагрівання жили проводу і її оголення через оплавлення ізоляції із подальшим займанням, розташованих у контактній близькості, горючих конструкційних матеріалів. Це є причиною загоряння при КЗ електропроводу в зонах АТЗ, віддалених від моторного відсіку – в салоні і багажних відділеннях. У цьому випадку небезпечним є те, що пожежа на АТЗ через КЗ може виникнути через деякий час після зупинення АТЗ і залишення його водієм без нагляду із увімкненою «масою» акумуляторної батареї. Крім цього, при оплавленні ізоляції можливий контакт жили проводу із «масою» на невеликій відстані від джерела електроживлення, внаслідок якого виникне КЗ із електричною дугою.

У обох випадках небезпечним є також те, що пожежа на АТЗ через КЗ може виникнути в русі і її розвиток на перших порах буде непомітним через зустрічний потік повітря, який відноситиме дим і запах продуктів горіння від кабіни чи салону.

Висновки. У результаті проведених досліджень можна констатувати таке:

1. Виникнення пожежі на АТЗ можливе при одночасній взаємодії трьох факторів – активного джерела загоряння, наявності у контактній близькості до нього горючого матеріалу (речовини) і доступу достатньої кількості окислювача – повітря у зону загоряння.

2. Активні джерела загоряння створюються аварійними режимами електричної мережі, внаслідок яких виникають КЗ. Причиною виникнення аварійних режимів у електричній мережі є, насамперед, її незадовільний технічний стан: порушення кріплення проводів і їх механічні та температурні пошкодження, використання запобіжників більшого номіналу тощо. У цьому аспекті вважаємо доцільно після тривалого періоду експлуатації (наприклад, після десяти років) повну заміну електромережі АТЗ хоча б у моторному відсіку.

3. Горючим матеріалом (речовиною), що спричинює пожежу на АТЗ є, насамперед, пальне і експлуатаційні рідини, що підтікають на поверхню двигуна і елементів моторного відсіку та горючі конструкційні матеріали.

Список літератури

1. Брушлинский Н. Н. Мировая пожарная статистика в начале XXI века / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов // Пожарная безопасность. – М.: 2005, № 5. – С. 78 – 88.
2. Хасанов Р. Х. О повышении противопожарной безопасности автомобилей / Р. Х. Хасанов, Е. С. Сидорин // Вестник Оренбургского гос. ун-та. – Оренбург, 2011, № 10 (129). – С. 70 – 75.
3. Забиров А. С. Пожарная опасность коротких замыканий. – М.: Стройиздат, 1987. – 104 с.
4. Исхаков Х. И. Пожарная безопасность автомобилей /Х. И. Исхаков, А. В. Пахомов, Я. Н. Каминский. – М.: Транспорт, 1987. – 87 с.
5. Смелков Г. И. Пожарная опасность электропроводок при аварийных режимах. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 184 с.
6. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году : статистический сборник / Под общ. ред. В. И. Климкина. – М.: ВНИИПО, 2012. – 137 с.

References

1. Brushlinskiy N.N. The world fire statistics at the beginning of XXI century /N.N. Brushlinskiy, S.V. Sokolov //Pozharnaya bezopasnost'. – Moscow: 2005, № 5. – p. 78 – 88.
2. Hasanov R.H. About the automotive fire safety increasing /R.H. Hasanov, E.S. Sidorin. Herald of Orenburg's state university. Orenburg, 2011, № 10 (129). – p. 70 – 75.
3. Zairov A.S. Fire danger of short circuits. – Moscow: Stroyizdat, 1987. – 104 p.
4. Iskhakov H.I. Fire safety of cars /H.I. Iskhakov, A.V. Pahomov, Y.N. Kaminskiy. – Moscow: Transport, 1987. – 87 p.
5. Smelkov G.I. Fire danger of electrical network during the emergency modes. – Moscow: Energoatomizdat, 1984. – 184 p.
6. Fires and fire safety in 2011. Statistical digest /Edited by V.I. Klimkin. – Moscow: All-Russian scientific and research institute of fire protection, 2012. – 137 p.

